低聚木糖对仔猪生长性能、肌肉组织营养成分含量及肌纤维类型组成的影响

郭秋平[1,2] 文超越[1,3] 王文龙[1,3] 段叶辉[1,2] 李颖慧[1,2] 孔祥峰[1] 李凤娜[1,4*]

（1.中国科学院亚热带农业生态研究所，畜禽养殖污染控制与资源化技术国家工程实验室，中国科学院亚热带农业生态过程重点实验室，长沙 410125；2.中国科学院大学研究生院，北京 100049；3.湖南师范大学生命科学学院，动物营养与人类健康实验室，长沙 410006；4.湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128）

摘 要：本试验旨在研究饲粮添加不同水平低聚木糖（XOS）对仔猪生长性能、背最长肌营养成分含量及肌纤维类型组成的影响，探讨 XOS 在仔猪饲粮中的最佳添加量及其对肌肉营养成分和肌纤维类型组成的调控作用。试验选取健康的 21 日龄“杜×长×大”断奶仔猪 120 头，随机分为 4 组，每组 6 个重复，每个重复 5 头猪。对照组饲喂基础饲粮，试验组（Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组）分别饲喂在基础饲粮中添加 100、250 和 500 mg/kg XOS 的饲粮，试验期为 56 d。试验结束后，每重复选取 1 头接近平均体重的仔猪进行屠宰取样。结果表明：1）与对照组相比，Ⅰ组仔猪的平均日增重和平均日采食量显著增加（$P<0.05$），Ⅱ组和Ⅲ组平均日采食量显著增加（$P<0.05$），但末重和料重比各组之间差异不显著（$P>0.05$）；2）各组之间背最长肌粗蛋白质、粗脂肪以及游离氨基酸包括亮氨酸、甘氨酸及天冬氨酸含量差异不显著（$P>0.05$），其他氨基酸含量试验组与对照组相比均有不同程度地升高或降低；3）与对照组相比，Ⅰ组肌球蛋白重链（*MyHC*）Ⅱa 和 *MyHC* Ⅱx mRNA 相对表达量显著增加（$P<0.05$），Ⅱ组 *MyHC* Ⅰ mRNA 相对表达量与Ⅲ组相比显著增加（$P<0.05$）；与对照组相比，Ⅰ组腺苷酸活化蛋白激酶 α、沉默交配型信息调节因子 2 同源蛋白 1 和解偶联蛋白 3 mRNA 相对表达量显著增加（$P<0.05$），但过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 辅激活因子 1α mRNA 相对表达量各组之间差异不显著（$P>0.05$）。由此可知，仔猪饲粮中合理添加 XOS 能提高生长性能，促进慢肌纤维相关基因的表达，推荐添加水平为 100~250 mg/kg。

关键词：低聚木糖；仔猪；生长性能；肌肉营养成分；肌纤维类型

收稿日期：2017-01-04

基金项目：山东龙力企业合作项目；湖南省自然科学基金面上项目（S2014J504I）；中国科学院青年创新促进会项目（2016326）

作者简介：郭秋平（1992—），女，山东济宁人，博士研究生，从事分子营养与肉品质调控研究。E-mail: gqp9210@163.com

*通信作者：李凤娜，副研究员，E-mail: lifengna@isa.ac.cn

中图分类号：S816.7

低聚木糖（xylo-oligosaccharide,XOS)是由 2~7 个木糖分子通过 β–1,4–糖苷键聚合而成的一种功能性寡聚糖。XOS 不能被肠道内的消化酶分解，进入后部肠道后，可作为肠道微生物发酵的底物，促进双歧杆菌和拟杆菌等有益菌生长[1]。目前，畜禽养殖中常将 XOS 作为饲料添加剂，取代部分抗生素或氧化锌，研究表明，仔猪饲粮中添加 XOS 能显著降低腹泻率[2]。饲粮添加 XOS 对肉质也有一定的影响。Suo 等[3]研究表明饲粮添加 100 g/kg XOS 能显著降低肉鸡腿肌滴水损失。庄洪廷[4]研究表明 XOS 可显著降低生长育肥猪背最长肌滴水损失，对肉品质有一定的改善作用。仔猪阶段是肌纤维类型转变的重要时期，XOS 对仔猪阶段肉品质和肌纤维类型转化影响的研究鲜见报道[5]。因此，本试验在仔猪基础饲粮中添加不同水平的 XOS，通过测定生长性能、背最长肌营养成分含量以及肌纤维类型组成的变化，初步研究 XOS 在仔猪饲粮中的添加效果，为在养殖生产中进一步推广和应用 XOS 奠定理论基础。

1　材料与方法

1.1　试验饲粮

试验饲粮组成符合 NRC（2012）仔猪的营养需要，基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	前期料（7~15 kg）Early nursery diet (7 to 15 kg)	后期料(16~30 kg) Late nursery diet (16 to 30 kg)
原料 Ingredients		
玉米 Corn	22.00	69.50
碎米 Broken rice	25.00	
小麦粉 Wheat flour	12.00	
葡萄糖 Glucose	3.00	
豆粕 Soybean meal (46% CP)	10.50	
豆粕 Soybean meal (43% CP)		16.00
膨化大豆 Puffed soybean	10.00	

发酵豆粕 Fermented soybean	2.50	4.00
大豆浓缩蛋白 Soybean protein concentrate		2.00
鱼粉 Fish meal	3.00	1.00
低蛋白乳清粉 Low-protein whey powder	5.00	
鸡蛋粉 Egg powder	0.50	
麦麸 Wheat bran		2.00
豆油 Soybean oil	1.00	1.50
柠檬酸 Citric acid	1.50	
预混料 Premix[1)]	4.00	4.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
消化能 DE/(MJ/kg)	14.23	13.81
粗蛋白质 CP	18.02	16.59
粗脂肪 EE	4.37	4.47
粗灰分 Ash	3.82	5.15
粗纤维 CF	2.31	2.76
钙 Ca	0.80	0.77
总磷 TP	0.55	0.57
有效磷 AP	0.40	0.33

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VK_3 5 mg，VB_1 2 mg，VB_2 15 mg，VB_{12} 30 μg，VA 5 400 IU，VD_3 110 IU，VE 18 IU，氯化胆碱 choline chloride 80 mg，抗氧化剂 antioxidants 20 mg，Cu (as copper sulfate) 19.8 mg，Fe (as ferrous sulfate) 400 mg，Se (as sodium selenite) 0.56 mg，Zn (as zinc sulfate) 359 mg，Mn (as manganese sulfate) 10.2 mg。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.2 试验设计

本试验选用120头健康的21日龄“杜×长×大”断奶仔猪，平均体重为（7.00±0.35） kg，随机分为4组，每组6个重复，每个重复5头猪，每重复为1栏。对照组饲喂基础饲粮，试验组（Ⅰ组、Ⅱ组和Ⅲ组）饲喂在基础饲粮中分别添加100、250和500 mg/kg XOS的饲粮。对照组仔猪平均体重达到30 kg时结束试验，试验期为56 d，每栏选取1头接近平均体重仔猪屠宰。XOS购自山东龙力科技有限公司，有效成分≥35%。

1.3　试验管理

饲养试验在中国科学院亚热带农业生态研究所永安试验基地开展，饲养管理严格按照商业养殖场规范操作。

1.4　样品采集与制备

试验第56天，每栏随机选取1头仔猪屠宰，于左半胴体第6~7肋骨处取背最长肌20 g装入封口袋，存放于－20 ℃，用于测定肌肉粗蛋白质、粗脂肪和游离氨基酸的含量；另取2 g包入锡箔纸内，液氮速冻后－80 ℃保存，用于总RNA的提取。

1.5　检测指标及方法

1.5.1　生长性能的测定

记录试验动物的始重（initial weight，IW）和末重（final weight，FW），每天记录每栏仔猪的采食量，试验结束时计算平均日增重（average daily gain，ADG）、平均日采食量（average daily feed intake，ADFI）和料重比（feed/gain ratio，F/G）。

1.5.2　肌肉常规营养成分测定

背最长肌绞碎后冷冻干燥，用凯氏定氮法检测粗蛋白质含量，用索氏抽提法测定肌内脂肪含量，用日立L–8800氨基酸自动分析仪检测游离氨基酸含量的变化。

1.5.3　mRNA表达水平的检测

用RNA提取试剂盒（Qiagen，德国）提取背最长肌总RNA，样品经Nanodrop 2000微量紫外分光光度计（Thermo Scientific，美国）测定浓度后，用反转录试剂盒（TAKARA，日本）反转为cDNA。用Primer软件设计引物（表2），由生工生物公司合成。以cDNA为模板，β–肌动蛋白（β-actin）为内参基因，采用ABI–7900HT实时荧光定量PCR仪（Applied Biosystems，美国）进行相对定量，目的基因的相对表达量采用$2^{-\Delta\Delta Ct}$法进行计算。

表2　引物序列及参数

Table 2 Sequences and parameters of primers

基因 Genes	引物序列 Sequences of primers (5'—3')	产物大小 Product size/bp
肌球蛋白重链Ⅰ *MyHC* Ⅰ	GGCCCCTTCCAGCTTGA TGGCTGCGCCTTGGTTT	63
肌球蛋白重链Ⅱa *MyHC* Ⅱa	TTAAAAAGCTCCAAGAACTGTTTCA CCATTTCCTGGTCGGAACTC	109
肌球蛋白重链Ⅱx *MyHC* Ⅱx	AGCTTCAAGTTCTGCCCCATC GGCTGCGGGTTATTGATGG	79
肌球蛋白重链Ⅱb *MyHC* Ⅱb	CACTTTAAGTAGTTGTCTGCCTTGAG GGCAGCAGGGCACTAGATGT	83
腺苷酸活化蛋白激酶α AMPKα	CAGACAGCCCTAAAGCAAGA CTCCAGCACCTCATCATCAA	311
沉默交配型信息调节因子2同源蛋白1 *SIRT*1	GGTTTGAAGAATGTTGCCTG CCGTTTACTAATCTGCTCCT	114
过氧化物酶体增殖物激活受体γ辅激活因子1α *PGC*-1α	GCCCAGTCTGCGGCTATTT GTTCAGCTCGGCTCGGATTT	265
解偶联蛋白3 *UCP*3	GAGATGGTGACCTATGATGT CGCAAAAAGGAAGGTGTGAA	260
β–肌动蛋白 β-actin	TGCGGGACATCAAGGACAAG AGTTGAAGGTGGTCTCGTGG	216

1.6 数据分析

采用 SAS 8.2 软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），并用 Duncan 氏法进行多重比较检验，试验数据采用“平均值±标准误”表示，$P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1　XOS 对仔猪生长性能的影响

由表 3 可知，与对照组相比，Ⅰ组仔猪 ADG 显著增加（P<0.05）；试验组仔猪 ADFI 显著增加（P<0.05），且Ⅰ组显著高于Ⅱ组和Ⅲ组（P<0.05）；各组之间仔猪的 FW 和 F/G 差异不显著（P>0.05）。

表 3　XOS 对仔猪生长性能的影响

Table 3　Effects of XOS on growth performance of piglets

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	I	II	III
始重 IW/kg	6.81±0.30	6.94±0.16	7.02±0.12	6.84±0.14
末重 FW/kg	30.67±1.01	33.41±1.14	32.44±0.92	31.91±0.78
平均日增重 ADG/(g/d)	433.8±14.5^{b}	481.3±19.5^{a}	462.2±16.2^{ab}	455.8±13.6^{ab}
平均日采食量 ADFI/(g/d)	750.8±29.4^{c}	857.1±42.9^{a}	817.9±24.1^{b}	815.5±31.2^{b}
料重比 F/G	1.73±0.04	1.79±0.03	1.77±0.02	1.79±0.03

同行数据肩标不同字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　XOS 对仔猪背最长肌营养成分含量的影响

由表 4 可知，各组之间背最长肌粗蛋白质和粗脂肪含量无显著差异（P>0.05）。

表 4　XOS 对仔猪背最长肌营养成分的影响（鲜样基础）

Table 4　Effects of XOS on nutritional ingredient in *Longissimus dorsi* muscle of piglets (fresh basis)　%

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	I	II	III
粗蛋白质 Crude protein	19.72±0.74	19.97±0.46	19.95±0.33	18.80±1.03
粗脂肪 Ether extract	1.17±0.16	1.50±0.20	1.27±0.26	1.30±0.13

2.3　XOS 对仔猪背最长肌游离氨基酸含量的影响

由表 5 可知，各组之间亮氨酸（Leu）、甘氨酸（Gly）及天冬氨酸（Asp）含量差异不

显著（*P*>0.05）。与对照组相比，试验组酪氨酸（Tyr）含量显著降低（*P*<0.05），且 3 组之间差异不显著（*P*>0.05）；Ⅰ组蛋氨酸（Met）含量显著降低（*P*<0.05），其他氨基酸含量差异不显著（*P*>0.05）；Ⅱ组异亮氨酸（Ile）和赖氨酸（Lys）含量显著增加（*P*<0.05）；Ⅲ组组氨酸（His）、Ile、Lys、Met、苯丙氨酸（Phe）、苏氨酸（Thr）、缬氨酸（Val）和谷氨酸（Glu）含量显著降低（*P*<0.05）。与Ⅱ组相比，Ⅰ组 Ile、Lys 和 Thr 含量显著降低（*P*<0.05）；除 Met 和 Tyr 之外，Ⅲ组的其他氨基酸均显著降低（*P*<0.05）。

表 5　XOS 对仔猪背最长肌游离氨基酸含量的影响（冻干基础）

Table 5　Effects of XOS on free amino acid content in *Longissimus dorsi* muscle of piglets (freeze-dry basis)　　mg/g

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
必需氨基酸 Essential amino acids				
精氨酸 Arg	$0.19±0.01^{ab}$	$0.19±0.01^{ab}$	$0.20±0.01^{a}$	$0.15±0.01^{b}$
组氨酸 His	$0.38±0.02^{a}$	$0.37±0.02^{a}$	$0.37±0.01^{a}$	$0.24±0.01^{b}$
异亮氨酸 Ile	$0.14±0.01^{b}$	$0.14±0.00^{b}$	$0.16±0.01^{a}$	$0.12±0.00^{c}$
亮氨酸 Leu	0.37±0.02	0.38±0.01	0.43±0.02	0.31±0.01
赖氨酸 Lys	$0.20±0.01^{b}$	$0.20±0.02^{b}$	$0.27±0.02^{a}$	$0.17±0.03^{c}$
蛋氨酸 Met	$0.19±0.01^{a}$	$0.17±0.00^{b}$	$0.18±0.01^{ab}$	$0.16±0.01^{b}$
苯丙氨酸 Phe	$0.38±0.03^{a}$	$0.33±0.00^{ab}$	$0.32±0.0^{ab}$	$0.26±0.01^{b}$
苏氨酸 Thr	$1.05±0.06^{ab}$	$0.93±0.05^{bc}$	$1.15±0.11^{a}$	$0.79±0.08^{c}$
缬氨酸 Val	$0.19±0.01^{a}$	$0.18±0.00^{ab}$	$0.19±0.01^{a}$	$0.16±0.01^{b}$
非必需氨基酸 Nonessential amino acids				
丙氨酸 Ala	$0.93±0.06^{ab}$	$0.91±0.08^{ab}$	$1.24±0.05^{a}$	$0.82±0.14^{b}$
谷氨酸 Glu	$0.74±0.02^{a}$	$0.71±0.05^{a}$	$0.80±0.04^{a}$	$0.55±0.01^{b}$
甘氨酸 Gly	0.61±0.07	0.63±0.06	0.58±0.05	0.45±0.07

丝氨酸 Ser	0.24±0.01[ab]	0.24±0.01[ab]	0.25±0.01[a]	0.21±0.01[b]
酪氨酸 Tyr	0.28±0.01[a]	0.20±0.02[b]	0.20±0.01[b]	0.15±0.01[b]
天冬氨酸 Asp	0.05±0.00	0.05±0.01	0.04±0.00	0.04±0.00

2.4　XOS 对仔猪肌纤维类型组成和能量代谢相关基因表达水平的影响

对于肌纤维类型组成相关基因的表达，与III组相比，II组肌球蛋白重链（*MyHC*）I mRNA 相对表达量显著增加（P<0.05），但与对照组相比差异不显著（P>0.05）；I组 *MyHC* IIa mRNA 相对表达量显著高于其他各组（P<0.05），同时 I 组 *MyHC* IIx mRNA 相对表达量显著高于对照组（P<0.05）；*MyHC* IIb mRNA 在相对表达量各组之间差异不显著（P>0.05）。对于能量代谢相关基因的表达，与对照组相比，I 组腺苷酸活化蛋白激酶α(*AMPK*α)、沉默交配型信息调节因子 2 同源蛋白 1(*SIRT*1)和解偶联蛋白 3（*UCP*3）mRNA 相对表达量显著增加（P<0.05），但过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 辅激活因子 1α（*PGC*-1α）mRNA 相对表达量在各组之间差异不显著（P>0.05）。

表 6　XOS 对仔猪肌纤维类型组成和能量代谢相关基因表达水平的影响

Table 6　Effects of XOS on expression level of genes related to muscle fiber type composition and energy metabolism of piglets

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	I	II	III
肌球蛋白重链 I *MyHC* I	0.86±0.15[ab]	0.98±0.18[ab]	1.26±0.21[a]	0.60±0.15[b]
肌球蛋白重链 IIa *MyHC* IIa	1.13±0.21[bc]	1.97±0.24[a]	0.96±0.32[c]	1.12±0.23[bc]
肌球蛋白重链 IIx *MyHC* IIx	0.96±0.11[b]	1.43±0.15[a]	1.11±0.14[ab]	1.24±0.15[ab]
肌球蛋白重链 IIb *MyHC* IIb	1.12±0.22	1.48±0.16	0.91±0.17	1.40±0.36
腺苷酸活化蛋白激酶α *AMPK*α	1.05±0.12[b]	1.78±0.17[a]	1.00±0.10[b]	1.21±0.22[ab]

沉默交配型信息调节因子2同源蛋白1 *SIRT*1	1.28±0.29[b]	2.38±0.28[a]	1.65±0.11[ab]	2.07±0.44[ab]
过氧化物酶体增殖物激活受体γ辅激活因子1α *PGC*-1α	1.06±0.16	1.06±0.17	0.62±0.07	0.76±0.19
解偶联蛋白3 *UCP*3	1.13±0.19[b]	2.35±0.38[a]	1.25±0.15[b]	2.90±0.79[a]

3 讨 论

本试验发现饲粮添加 XOS 对仔猪生长性能有一定的促进作用。郭雪峰等[6]研究发现，断奶仔猪饲粮中添加 200 mg/kg XOS 能显著提高 ADG 和 ADFI。徐丽萍等[7]发现，添加 XOS 能提高雏鸡的生长性能，并以 200 mg/kg 的添加效果最佳。此外，宋晓春[8]发现，饲粮添加 XOS，断奶仔猪 ADG 表现出增加的趋势。本试验中，I 组（添加 100 mg/kg XOS）仔猪 ADG 和 ADFI 均显著增加，但各组 F/G 未发生显著变化，且采食量随着日增重的变化而变化，这可能与 XOS 具有甜味、有一定的诱食性相关[9]。

肌肉营养组成受品种、生长阶段和营养水平等多种因素的影响。本试验检测了背最长肌的常规营养成分（包括肌肉粗蛋白质、粗脂肪和游离氨基酸）发现，与对照组相比，添加 XOS 对肌肉组织的粗蛋白质和粗脂肪含量没有显著影响，主要原因可能是 XOS 作为肠道微生物代谢底物，仅极少部分用于机体供能，且三元猪 10~30 kg 阶段主要是骨骼肌生长的高峰期，机体脂肪沉积较少[10]。陈倩妮[11]在肉仔鸡试验中却发现，与对照组相比，300 mg/kg XOS 使肉仔鸡肌肉组织的粗脂肪和粗蛋白质含量均显著提高，而 100 mg/kg XOS 组粗脂肪含量显著降低。XOS 作为肠道有益菌发酵的底物，能调节肠道微生物区系，进而调节肠道微生物参与的饲粮氨基酸代谢[12-13]。本试验中，I 组肌肉组织中游离氨基酸组成变化差异不显著，II 组多种必需与非必需氨基酸显著增加，而III组则有几种氨基酸含量显著降低。Leu、Ile 和 Val 是支链氨基酸，可调节机体内蛋白质代谢，参与特殊时期的氧化供能[14]。II 组 Ile 含量显著增加，III组肌肉中 Leu、Ile 和 Val 的含量则显著降低，推测 XOS 添加量过高，引起肌肉能量代谢增加，支链氨基酸消耗过多，肌肉蛋白质沉积减少。游离氨基酸对猪肉鲜味具有重要贡献[15]，Glu、Lys 和 Phe 是猪肉风味与品质中重要的鲜味和甜味因子，而III组的

结果表明这几种氨基酸含量显著降低，推测 XOS 添加量过高不利于蛋白质沉积和肉品质的改善，可能与过量添加引起后部肠道微生物过度发酵，食糜流通速度加快，不利于营养物质的吸收有关。

骨骼肌由不同代谢类型的肌纤维组成，猪肌肉组织的肌纤维类型组成直接影响其能量代谢状态以及宰后肉品质。本试验结果表明，与对照组相比，Ⅰ组和Ⅱ组均能促进氧化型肌纤维的表达，但Ⅲ组对肌纤维类型的影响不显著。氧化型肌纤维主要依靠线粒体的有氧代谢途径进行供能，能量代谢活跃。AMPK、SIRT1、PGC-1α 和 UCP3 构成机体内能量感应网络，调节机体能量代谢[16-17]。AMPK 活性受 AMP/ATP 值影响，AMPK 磷酸化后激活参与调节多条靶向通路，调节氧化型肌纤维的形成[17]。SIRT1 参与体内能量调节、氧化应激与抗炎等过程[18]，骨骼肌超表达 *SIRT*1 能促进快肌纤维向慢肌纤维的转化[16]。本试验表明，Ⅰ组背最长肌 *AMPK*α 和 *SIRT*1 mRNA 相对表达量与对照组相比显著增加，表明 100 mg/kg XOS 可促进肌纤维类型向氧化型转化。PGC-1α 是骨骼肌细胞线粒体合成必须的转录因子，且参与维持肌纤维类型，促进慢肌纤维形成[19]，但本试验中 *PGC*-1α mRNA 相对表达量各组之间差异不显著。UCP3 参与调节机体内肌肉组织和脂肪组织的能量转化，Solanes 等[20]研究发现人的肌肉组织中 *UCP*3 基因表达水平与 MyHC Ⅱa 型肌纤维的含量成正相关。本试验中Ⅰ组 *UCP*3 mRNA 相对表达量与对照组相比显著增加，表明 XOS 可能促进肌肉组织氧化型肌纤维的形成。

4 结 论

添加 XOS 对仔猪生长性能和氧化型肌纤维组成比例具有一定的改善作用，以 100~250 mg/kg 的添加量为宜。

参考文献：

[1] SAMANTA A K,JAYAPAL N,JAYARAM C,et al.Xylooligosaccharides as prebiotics from agricultural by-products:production and applications[J].Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre,2015,5(1):62–71.

[2] 谭兵兵,姬玉娇,丁浩,等.低聚木糖对断奶仔猪生长性能、腹泻率和血浆生化参数的影响[J].动物营养学报,2016,28(8):2556–2563.

[3] SUO H Q,LU L,XU G H,et al.Effectiveness of dietary xylo-oligosaccharides for broilers fed a

conventional corn-soybean meal diet[J].Journal of Integrative Agriculture,2015,14(10):2050–2057.

[4] 庄洪廷.低聚木糖对生长肥育猪的生产性能、肉品质和 *PRKAG*3 基因表达的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2007:33.

[5] FAZARINC G,VRECL M,ŠKORJANC D,et al.Dynamics of myosin heavy chain isoform transition in the longissimus muscle of domestic and wild pigs during growth:a comparative study[J].Animal,2017,11(1):164–174.

[6] 郭雪峰,边连全,付亮亮.低聚木糖和酸化剂对断奶仔猪生产性能的影响[J].中国饲料,2006(17):20–21.

[7] 徐丽萍,马明颖.低聚木糖对雏鸡生长性能、免疫功能及营养物质利用率的影响[J].安徽农业科学,2011,39(13):7835–7836,7963.

[8] 宋晓春.低聚木糖在仔猪和生长育肥猪生产中应用的研究[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2006:39.

[9] 单黎然,龚月桦,贾建光,等.4 种重要功能性低聚糖的研究进展[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(7):96–100.

[10] 杨公社.猪生产学[M].北京:中国农业出版社,2002:235.

[11] 陈倩妮.低聚木糖对肉仔鸡生产性能、肉品质及肠道微生物的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2009:20.

[12] KOLIDA S,TUOHY K,GIBSON G R.The human gut flora in nutrition and approaches for its dietary modulation[J].Nutrition Bulletin,2000,25(3):223–231.

[13] 戴求仲,王康宁,印遇龙,等.生长猪肠道氨基酸代谢研究进展[J].家畜生态学报,2005,26(2):63–69.

[14] HARPER A E,MILLER R H,BLOCK K P.Branched-chain amino acid metabolism[J].Annual Review of Nutrition,1984,4:409–454.

[15] HAEFELI R J,GLASER D.Taste responses and thresholds obtained with the primary amino acids in humans[J].Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie,1990,23(6):523–527.

[16] 文超越,段叶辉,李颖慧,等.能量感应网络 AMPK/SIRT1/PGC-1α 对骨骼肌纤维类型转化调节[J].动物营养学报,2016,28(1):57–63.

[17] HARDIE D G,ROSS F A,HAWLEY S A.AMPK:a nutrient and energy sensor that maintains energy homeostasis[J].Nature Reviews Molecular Cell Biology,2012,13(4):251–262.

[18] 林彬彬.断奶应激对仔猪肌肉氨基酸及能量代谢的影响研究[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2014:37.

[19] HANDSCHIN C,CHOI C S,CHIN S,et al.Abnormal glucose homeostasis in skeletal muscle-specific PGC-1α knockout mice reveals skeletal muscle-pancreatic β cell crosstalk[J].Journal of Clinical Investigation,2007,117(11):3463–3474.

[20] SOLANES G,VIDAL-PUIG A,GRUJIC D,et al.The human uncoupling protein-3 gene,genomic structure,chromosomal localization,and genetic basis for short and long form transcripts[J].Journal of Biological Chemistry,1997,272(41):25433–25436.

Effects of Xylooligosaccharide on Growth Performance, Muscle Nutrient Content and Muscle Fiber Type Composition of Piglets

GUO Qiuping[1,2] WEN Chaoyue[1,3] WANG Wenlong[1,3] DUAN Yehui[1,2] LI Yinghui[1,2] KONG Xiangfeng[1] LI Fengna[1,4*]

(1. *Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, National Engineering Laboratory for Pollution Control and Waste Utilization in Livestock and Poultry Production, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha* 410125, *China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China;* 3. *Laboratory of Animal Nutrition and Human Health, College of Life Science, Hunan Normal University, Changsha* 410006, *China*; 4. *Hunan Collaborative Innovation Center for Products Safety of Livestock and Poultry, Changsha* 410128, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of different xylooligosaccharide (XOS) supplemental levels on growth performance, *Longissimus dorsi* muscle nutrient content and muscle fiber type composition of piglets, in order to determine the optimal dose of XOS supplemental level and the possible regulatory mechanisms of XOS for muscle nutrient and muscle fiber type composition. A total of 120 healthy weaned Duroc×Large White×Landrace

piglets with 21 days of age were randomly assigned into 4 groups with 6 replicates per group and 5 piglets per replicate. Pigs in the control group were fed a basal diet and the others in the experimental groups (groups Ⅰ, Ⅱ and Ⅲ) were fed the basal diets supplemented with 100, 250 and 500 mg/kg XOS, respectively. The experiment lasted for 56 days. When the experiment was over, one pig per replicate close to the average weight was randomly chosen to slaughter sampling. The results showed as follows: 1) compared with the control group, average daily gain and average daily feed intake (ADFI) of pigs in group Ⅰ were significantly increased (P<0.05), and ADFI of pigs in groups Ⅱ and Ⅲ was significantly increased (P<0.05), too. But there were no significant differences in the final weight and the ratio of feed to gain among all groups (P>0.05). 2) There were no significant differences in the contents of crude protein, ether extract, free amino acids such as leucine, glycine and aspartic acid among all groups (P>0.05), while the other amino acids in experimental groups rose or fell with different levels compared with the control group. 3) The myosin heavy chain (*MyHC*) Ⅱa and *MyHC* Ⅱx mRNA relative expression levels in group Ⅰ were significantly higher than those in the control group (P<0.05), and *MyHC* I mRNA relative expression level in group Ⅱ was significantly increased compared with group Ⅲ (P<0.05). Compared with the control group, the mRNA relative expression levels of AMP-activated protein kinase alpha, silent mating type information regulation 2 homolog 1 and uncoupling protein 3 were significantly increased (P<0.05), and there were no significant differences in the mRNA relative expression level of peroxisome proliferator-activated receptor-γ coactivator-1α among all groups (P>0.05). In conclusion, the suitable XOS supplementation in piglet diet can improve the growth performance and promote the mRNA relative expression levels of genes related to slow-twitch muscle fiber, and the recommend supplemental level is 100 to 250 mg/kg under the present experiment.

Key words: xylooligosaccharide; piglet; growth performance; muscle nutrition; muscle fiber type

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail: lifengna@isa.ac.cn （责任编辑　田艳明）